Die Aenderung des Luftdruckganges in einem fortschreitenden Kaltluftkörper

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung des Doktorgrades

genehmigt von der

Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät

der Friedrich-Wilhelms-Universität zu Berlin

von

Martin Haebler

aus Berlin

Tag der Promotion: 22. II. 1939

Tag der mündlichen Prüfung: 26. XI. 1937

1939

Druck: Triltsch & Huther, Berlin O 17

118

Referenten: Prof. Dr. H. von Ficker

Prof. Dr. A. Defant

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

Einleitung.

Der Zweck der Arbeit ist die Untersuchung der Veränderung des Druckganges beim Durchzug einer Kaltfront. Der Ausgangspunkt war der vollkommen verschiedenartige und auch verschieden starke Druckgang bei einem Kaltlufteinbruch, der am 17. und 18. Juni 1931 ganz Deutschland überflutete. Es wäre anzunehmen, daß im Einbruchsgebiet der Kaltluft ein stärkerer Druckanstieg auftreten müßte als in einem Gebiet, wo die Kaltluft erst nach einem längeren Wege hinkommt. In diesem Falle ist es gerade umgekehrt, so daß die Druckänderungen um so größer werden, je weiter sich die Kaltluft von ihrem Einbruchsgebiet entfernt. Ebenso auffällig war es, daß der Druckanstieg nicht unmittelbar auf den Druckfall folgt, sondern daß dazwischen eine Zeit konstanten Druckes bzw. eine Zeit mit schwachem Gradienten liegt. In der Arbeit soll untersucht werden, ob und inwieweit hier stratosphärische Einflüsse vorliegen.

1. Material.

Zur Arbeit wurden 53 Druck- und 36 Temperaturregistrierungen benutzt. Die Verteilung der Stationen gibt folgende Tabelle:

Norddeutschland	Registrierungen			
Emden	Druck	—		
Helgoland	„	Temperatur	Nordseeküste	
Wyk a. Föhr	„	—		
Lübeck	„	Temperatur		
Putbus	„	„	Rügen	Ostsee-küste
Köslin	„	„	Pommern	
Königsberg	„	„	Ostpr.	
Oldenburg	„	„		
Zernikow	„	—	b. Glöwen, Priegnitz	
Deutsch Krone	„	Temperatur	Pommern	
Treuburg	„	„	Ostpreußen	

Mitteldeutschland	Registrierungen			
Münster	Druck	Temperatur	Westfalen	
Lüdenscheid	„	—	„	
Neuwied	„	Temperatur	Rheinland	
Hannover	„	—		
Celle	„	—		
Helmstedt	„	Temperatur	Braunschweig	
Brocken	„	„	im Harz	
Schmatzfeld	„	„		
Quedlinburg	„	—		
Erfurt	„	—		
Berlin	„	—		
Frankfurt/Oder	„	Temperatur		
Grünberg	„	„		
Liegnitz	„	—		Nord-
Schneekoppe	„	Temperatur	Riesen-	
Arnsdorf	„	„	gebirge	
Reinerz	„	—		
Landeck	„	Temperatur		Mittel-
Ziegenhals	„	—		
Proskau	„	Temperatur		Süd-
Ratibor	„	„		Schlesien
Hindenburg	„	„		

Süddeutschland	Registrierungen			
Karlsruhe	„	—	Baden	
Donaueschingen	Druck	Temperatur		
Stuttgart	„	„		
Ulm	„	„	Württemberg	
Friedrichshafen	„	„		
Coburg	„	„	nördlich der Donau	Bayern
Bamberg	„	„		
Nürnberg	„	„		
Augsburg	„	„		
Hohenpeissenberg	„	„		
Partenkirchen	„	„	südlich der Donau	
Zugspitze	„	„		
München	„	„		
Höllenstein	Druck	Temperatur	nördlich der Donau	Bayern
Kachletstufe	„	„	südlich der Donau	
Fichtelberg	„	„	Erzgebirge	

Oesterreich	Registrierungen		
Innsbruck	Druck	Temperatur	
Salzburg	„	„	
Sonnblick	„	„	Hohe Tauern

Dazu kamen die Aufstiege von den 6 deutschen Stationen Hamburg, Darmstadt, Lindenberg, Friedrichshafen, München und Königsberg. Außerdem wurden benutzt die Terminbeobachtungen von 118 Stationen. Davon lagen 2 in Polen, 7 in der Tschechoslowakei, 2 in Oesterreich, 7 in der Schweiz, 1 in Holland, 1 in Dänemark und die übrigen 98 in Deutschland. Ferner wurden zum Zeichnen von Wetter- und Tendenzkarten die Wetterberichte der Deutschen Seewarte benutzt.

2. Wetterlage.

Nachdem der Hochdruckrücken, der am 14. Juni 1931 von Jan Mayen über Südskandinavien, Deutschland, Oesterreich und Ungarn zur Balkanhalbinsel reichte, von einer Zyklone durchbrochen war, erschien am 15. Juni über dem westlichen Atlantik südwestlich von Island eine neue Zyklone. Sie zog langsam unter geringer Vertiefung in Richtung auf Großbritannien, so daß sie am 16. Juni südlich von Island lag. Am 17. Juni lag sie über Schottland und nahm dann eine mehr nordöstliche

Zugrichtung an, so daß sie am 18. Juni über Südnorwegen lag und sich am 19. in nordnordöstlicher Richtung nach dem nördlichen Norwegen verlagert hatte. Die auf ihrer Rückseite nachströmende Kaltluft erreichte den Kontinent am 17. Juni. Um 8 Uhr zog sich die Kaltfront von Schottland über die Ostküste Englands nach Südfrankreich. Um 14 Uhr wurde die deutsche Grenze im Nordwesten erreicht. Im Laufe des 17. und 18. Juni wurde ganz Deutschland von der Kaltluft überflutet. Der genauere Verlauf des Kaltlufteinbruchs in Deutschland wird später behandelt. Ebenfalls eine Folge der auf der Rückseite nachströmenden Kaltluft war ein Vorstoß eines Ausläufers des Azorenhochs in Richtung auf Mitteleuropa. Nach einem zweiten Kaltlufteinbruch stellte sich dann eine ziemlich lange dauernde Hochdruckwetterlage ein.

3. Ausbreitung der Kaltluft.

Zur eingehenderen Untersuchung der Ausbreitung der Kaltluft über Deutschland werden nicht die Wetterkarten, sondern die Thermogramme benutzt. Mit ihrer Hilfe kann der Zeitpunkt des Kaltlufteinbruchs genau festgelegt werden. Die frühesten Zeiten haben, wie zu erwarten, Münster mit 15.30^h, Oldenburg (Fig. 5) 17^h und Neuwied (Fig. 7) 17.30^h. Es handelt sich also um einen Kaltlufteinbruch aus Nordwesten. Ein auf den ersten Blick merkwürdiges Ergebnis erhält man in Süddeutschland. Während im westlichen Süddeutschland, in Baden und Württemberg, die Stationen eine um so spätere Zeit des Kaltlufteinbruchs zeigen, je südlicher und östlicher sie liegen, ist es im östlichen Süddeutschland, in Bayern umgekehrt. Die Zeit des Kaltlufteinbruchs ist bei

Bamberg 12.00^h	Nürnberg 12.00^h (Fig. 9)
Augsburg 11.30^h	München 11.00^h
Hohenpeißenberg 11.30^h	Partenkirchen 9.45^h.

Je südlicher die Station liegt, desto früher trifft die Kaltluft ein; also gerade das Umgekehrte, als man erwartet. Die Erklärung hierfür ist folgende: Die Kaltluft, die von Nordwesten kommt, staut sich an den Alpen und breitet sich dann schnell längs der Alpen aus, wodurch natürlich die Stationen, die am nächsten am Gebirge liegen, die Kaltluft zuerst bekommen. Die Wirkung der gestauten Kaltluft macht sich auch noch auf den Tendenzkarten bemerkbar. Auf der Tendenzkarte vom 18. Juni 8^h zeigt sich vor den Alpen ein Ausläufer des Steiggebietes, während am 18. Juni um 14^h über Süddeutschland ein ziemlich starkes Steiggebiet mit seinem Kern von 6 mb/3 Std.

vor den Alpen liegt. Erst in Salzburg und Kachletstufe (Fig. 14) wird wieder die Zeit von 12^h erreicht wie in Bamberg und Nürnberg. Nicht ganz einfach läßt sich die Eintrittszeit des Kaltlufteinbruchs in den Küstenstationen der Ostsee feststellen mit Ausnahme von Lübeck, das einen klaren Temperaturabfall zeigt. In Putbus (Fig. 10) nimmt die Temperatur im normalen Tagesgang zur Nacht hin ab. Um 21^h wird diese Abnahme plötzlich aufgehalten. Es folgen dann noch zwei geringe Abnahmen, und dann bleibt die Temperatur bis zum nächsten Tage um 18^h fast konstant. Nimmt man das Barogramm (Fig. 10) zu Hilfe, so zeigt es nach einem Druckfall eine Form, die als Gewitternase gedeutet werden kann. Danach steigt dann der Druck stetig an. Gestützt wird diese Annahme dadurch, daß auch die Beobachtungstagebücher von Putbus ein Gewitter angeben. Da um 24^h keine Wärmegewitter anzunehmen sind, kann man dieses als Frontgewitter deuten. Der Zeitpunkt des Kaltlufteinbruchs wird also am Anfang der Gewitternase am 18. Juni um 0^h angenommen. Für Köslin gilt dasselbe wie eben für Putbus. Auch hier ist bei wenig ausgeprägtem Temperaturfall morgens ein Gewitter, das sowohl im Beobachtungstagebuch, wie auch im Barogramm zu finden ist. Da auch noch um 6.20^h morgens kein Wärmegewitter anzunehmen ist, wird auch hier der Beginn des Gewitters gleich dem Zeitpunkt des Kaltlufteinbruchs gesetzt. Setzt man in Zernikow, von dem keine Temperaturregistrierung vorliegt, auch den Zeitpunkt des Kaltlufteinbruchs gleich dem Zeitpunkt der Gewitternase im Barogramm, so erhält man als Zeit 17. Juni 22^h, eine Zeit, die sich gut in den Rahmen der übrigen einfügt. Die Thermogramme von Königsberg und Treuburg (Fig. 15) zeigen nach einem normalen Tagesanstieg gegen Mittag — in Königsberg um 11.30^h, in Treuburg um 16^h — einen kräftigen Temperaturabfall von 7 bis 8° C, danach einen kleinen Anstieg und dann wieder Fall. Zieht man jedoch die Barogramme (Fig. 15) zu Vergleichen zu, so sieht man, daß der kräftige Temperaturfall von 7—8° sich im Barogramm fast gar nicht auswirkt. Diese Tatsache und der Umstand, daß dies gerade in den Mittagsstunden erfolgt, lassen vermuten, daß es sich hierbei um ein Wärmegewitter handelt. Der Kaltlufteinbruch wird auch in Königsberg und Treuburg von einem Gewitter eingeleitet, das sich sowohl im Thermogramm als auch im Barogramm bemerkbar macht. Man erhält so Eintrittszeiten des Kaltlufteinbruchs von 22^h in Königsberg und 23^h in Treuburg. Die schlesischen Stationen (Fig. 11 u. 16) zeigen wieder einen eindeutigen Zeitpunkt des Kaltlufteinbruchs wie im Westen des Reiches. Trägt man die Zeiten des Kaltlufteinbruchs in eine Karte, so erhält man Fig. 1. Man erkennt aus der Karte, daß der Kaltlufteinbruch von Nordwesten ausgeht und sich zunächst am schnellsten in Mitteldeutschland

ausbreitet. Während der Nacht bleibt die Kaltluft fast an Ort und Stelle liegen und setzt sich erst gegen Morgen wieder in Bewegung. Nur an der Küste breitet sie sich auch während der Nacht weiter aus. Morgens erreicht sie dann die Alpen und breitet sich infolge Stauens längs des Gebirges schneller aus als in der Ebene; im Laufe des Tages überflutet die Kaltluft dann die Gebirge und den Osten Deutschlands. Am 18. Juni um 23^h ist ganz Deutschland von der Kaltluft passiert.

Die Art und Größe des Temperaturabfalls beim Kaltlufteinbruch ist auf den verschiedenen Stationen nicht die gleiche. Die Größe des Temperaturabfalls gibt nachfolgende Tabelle:

Station	Δ t°C	Station	Δ t°C
Münster	8	Fichtelberg	4
Neuwied	10	Coburg	4.5
Helmstedt	10	Bamberg	5
Schmatzfeld	8	Nürnberg	5.5
Brocken	4	Karlsruhe	3
Oldenburg	5	Stuttgart	3.5
Lübeck	6	Donaueschingen	5
Putbus	—	Friedrichshafen	4
Köslin	—	Augsburg	5
Deutsch Krone	4	München	7
Königsberg	—	Hohenpeissenberg	7
Treuburg	5	Partenkirchen	7
Frankfurt a./O.	5	Zugspitze	6
Grünberg	5	Höllenstein	9
Arnsdorf	8	Kachletstufe	10
Schneekoppe	5	Innsbruck	8
Landeck	9.5	Salzburg	9
Proskau	11	Sonnblick	9

Im Nordwesten findet man einen plötzlichen starken Temperatursturz, der in Münster und Schmatzfeld 8°, in Neuwied (Fig. 7) und Helmstedt sogar 10° beträgt. Die Küstenstationen Oldenburg (Fig. 5) und Lübeck zeigen ebenfalls einen plötzlichen Temperaturabfall, aber nur von 5 und 6° C. Diese geringe Temperaturabnahme beim Kaltlufteinbruch kommt daher, daß erstens die Tagestemperaturen unter dem Einfluß des Meeres nicht so hoch ansteigen als im Binnenland — Tagesmaximum in Münster 27° C, Helmstedt 29°, Neuwied (Fig. 7) 31° und Oldenburg (Fig. 5) und Lübeck 25° — und daß zweitens der Kaltlufteinbruch an den einzelnen Stationen nicht zur gleichen Zeit eintritt. Da die Temperatur der Kaltluft rund 18° beträgt, ist natürlich die Größe des Temperaturabfalles davon abhängig, wie groß das Tagesmaximum ist und ob der Kaltluft-

einbruch zur Zeit des Tagesmaximums oder erst später eintritt. Da in Putbus (Fig. 10) der Kaltlufteinbruch um Mitternacht erfolgt, hat man im Thermogramm überhaupt keinen Temperaturabfall, sondern die Temperaturabnahme, die zur Nacht hin erfolgt, wird um 24^h abgestoppt, und die Temperatur bleibt fast konstant auf 15—16° C. Aehnliche Verhältnisse zeigt Köslin. Dort erfolgt der Kaltlufteinbruch um 6^h morgens. Hier wird 2° C oberhalb des nächtlichen Temperaturminimums von 16° C der Tagesanstieg aufgehalten, und die Temperatur sinkt dann im Laufe des Tages noch etwas ab. In Ostpreußen (Fig. 15) findet man trotz eines Tagesmaximums von 30° C nur 5° Temperaturabnahme beim Kaltlufteinbruch, da erstens die Temperatur schon vorher bei einem Wärmegewitter gesenkt wurde, und da zweitens der Kaltlufteinbruch während der Nacht erfolgte. In Süddeutschland liegen die Verhältnisse so, daß es zu keinem Morgenanstieg der Temperatur kommt, wodurch natürlich die Temperaturdifferenz zur Kaltluft so gering wird. Die geringste Temperaturabnahme haben Karlsruhe mit 3° und Stuttgart (Fig. 6) mit 3,5° C. Nur im Südwesten Bayerns und in Oesterreich ist der Morgenanstieg ausgebildet, so daß auch dort je nach Größe des Tagesmaximums große Temperaturabfälle auftreten — Höllenstein (Fig. 13) 9° und Kachletstufe (Fig. 14) 10°. Die schlesischen Stationen zeigen dieselben Verhältnisse wie in Norddeutschland, einen scharf abgesetzten Temperatursturz. Grünberg hat nur ein Tagesmaximum von 24,5° und daher auch nur 5° Temperaturabnahme, während Proskau (Fig. 16) in Oberschlesien bei 32° Tagesmaximum die größte Temperaturabnahme von 11° beim Kaltlufteinbruch hat. Die Höhe der Kaltluft ist nicht festzustellen, da bei allen deutschen Aufstiegen die Abkühlung bis über Gipfelhöhe reicht. Ebenso werden sämtliche Bergstationen (Fig. 18, 19 u. 20) von der Kaltluft überflutet.

4. Die Druckänderungen.

Wie der Temperaturgang auf den einzelnen Stationen verschieden ist, so ist auch der Druckgang sehr verschieden. Nach der Form des Luftdruckganges kann man die Barogramme in vier Typen einteilen. Beim ersten Typ folgt einem mäßigen Druckfall ein schwacher Druckanstieg, dem dann ein etwas stärkerer folgt. Bei Typ 2 findet man eine Form, bei der nach einem mäßigen bis starken Druckfall für einige Zeit der Druck fast konstant bleibt, um dann wieder mehr oder weniger stark zu steigen. Bei Typ 3 geht ein mäßiger Druckfall in einen schwächeren über, dem dann ein starker Druckanstieg folgt. Beim vierten und letzten Typ folgt auf einen mäßigen Druck-

fall direkt ein starker Druckanstieg. Das Vorkommen der Type 1 ist auf den Nordwesten des Reiches beschränkt. Vertreter dieser Type sind Münster und Oldenburg (Fig. 5). Die Type 2 findet man in Mitteldeutschland und im westlichen Teil Bayerns. Infolge der Größe des Gebietes zeigen sich schon innerhalb desselben Typs Veränderungen und zwar nimmt die Stärke des Steigens vom Westen des Gebietes nach Osten hin zu. In Lüdenscheid, Neuwied (Fig. 7), Hannover, Celle und an der Küste beträgt die Stärke des Druckanstieges 1 bis 2 mb/3 Std., in Erfurt und Berlin 3 mb/3 Std. In Süddeutschland ist der Druckanstieg am stärksten. Er erreicht in Bamberg und Friedrichshafen (Fig. 8) 5, in Nürnberg (Fig. 9) 6 und in Augsburg sogar 8 mb/3 Std. Barogramme vom Typ 3 kommen vor im östlichen Bayern (Höllenstein, Fig. 13), in Salzburg und in Schlesien (Liegnitz, Fig. 12). Der Typ 4 ist auf den äußersten Osten beschränkt, man findet ihn in Kachletstufe (Fig. 14), der östlichsten Station Bayerns, in Ostpreußen, Königsberg und Treuburg (Fig. 15) und im östlichen Oberschlesien, in Ratibor, Proskau (Fig. 16) und in Hindenburg (Fig. 17).

5. Die stratosphärische Druckwelle.

Vergleicht man den Druck an einer Station mit dem dazugehörigen Temperaturgang, so sieht man, daß trotz gleich großem Temperaturrückgang beim Kaltlufteinbruch der Druckeffekt ganz verschieden groß ist. Den markantesten Unterschied in dieser Hinsicht bildet der Druckgang an den Stationen Neuwied (Fig. 7) im Rheinland und Proskau (Fig. 16) in Oberschlesien. Während in Neuwied der Druckverlauf ganz flach ist, sind in Proskau starke Druckänderungen vorhanden, obwohl bei beiden Stationen der Temperaturverlauf fast der gleiche ist. Dasselbe gilt auch für andere Stationen. Wäre nur die Kaltluft allein wirksam, so müßte bei gleich großem Temperaturabfall und bei gleicher Höhe der Kaltluft ein gleich großer Druckanstieg die Folge sein. Die Höhe der Kaltluft ist nicht festzustellen, da die Abkühlung bei allen deutschen Aufstiegen über Gipfel reicht. Wenn man nicht annehmen will, daß die Kaltluft über ganz Deutschland die gleiche Höhe hat, so kann man jedoch nicht annehmen, daß sie nach Osten hin zunimmt, wenn der Kaltlufteinbruch aus Nordwesten kommt, und daß deswegen die größeren Druckänderungen in Proskau auf größere Höhe der Kaltluft zurückzuführen ist. Außer dieser Ungleichmäßigkeit in der Stärke des Druckanstieges findet man noch, daß bei allen Stationen, mit Ausnahme der ganz im Osten liegenden, der Uebergang vom fallenden zum steigenden Druck in zwei Absätzen vor sich geht. Der eine der beiden Absätze

wird von der Kaltluft erzeugt. Seine Lage gegenüber dem zweiten Absatz kann ganz verschieden sein. Er kann zeitlich vor dem zweiten Absatz auftreten, und zwar erstens bei niedrigerem Druck, zweitens bei gleichem Druck. Bei höherem Druck als beim zweiten Absatz tritt der Kaltluftabsatz nicht auf. Dann tritt er zeitlich nach dem zweiten Absatz auf, und zwar erstens bei niedrigerem Druck, zweitens bei gleichem Druck und drittens bei höherem Druck. Diese Formen des Luftdruckganges lassen vermuten, daß der Druckeffekt der Kaltluft noch von einem Druckeffekt stratosphärischer Herkunft überlagert wird. Daß dieser zweite Absatz nicht auch ein Effekt der Kaltluft ist, läßt sich leicht nachweisen, wenn man das Thermogramm zur Zeit des zweiten Absatzes betrachtet. Es ist zu dieser Zeit keinerlei Temperaturabfall festzustellen. Aber auch die Gewittertätigkeit kann nicht dafür verantwortlich gemacht werden.

Zur Bearbeitung der Gewittertätigkeit wurden die Meldungen aus den Beobachtungstagebüchern von 325 Stationen aus Preußen, Baden, Württemberg und Bayern herangezogen. Wo vorhanden, wurde als Zeit des Gewitters die Angabe des Eintritts der Gewitterbö benutzt, in den übrigen Fällen die Angabe „Gewitter war der Station am nächsten". Die so erhaltenen Zeiten wurden in eine Karte eingetragen und die Orte mit der gleichen Zeit durch Isobronten verbunden (Fig. 3). Die Karte der Gewittertätigkeit hat in Norddeutschland und Schlesien in großer Annäherung dasselbe Aussehen wie die Karte des Kaltlufteinbruchs (Fig. 1). Die übrigen Gebiete des Reiches zeigen ein geringes abweichendes Verhhalten. Im westlichen Süddeutschland, in Mitteldeutschland und in Ostpreußen tritt das Gewitter vor und im östlichen Süddeutschland nach dem Kaltlufteinbruch auf. Vergleicht man die Zeiten der Gewitter mit den Barogrammen, so sieht man, daß der zweite Absatz im Druckverlauf nicht mit den Gewittern zusammenhängt. In Oldenburg (Fig. 5) und Neuwied (Fig. 7) fällt das Gewitter mit dem Kaltlufteinbruch zusammen. In Stuttgart (Fig. 6) macht sich das Gewitter nur durch einen kleinen Temperaturabfall bemerkbar. Im Druckverlauf von Friedrichshafen (Fig. 8) findet man zur Zeit des Gewitters eine typische Gewitternase kurz vro dem Kaltlufteinbruch. Eine kleine Störung des gradlinigen Druckverlaufs zwischen den beiden Absätzen ist die Folge des Gewitters in Nürnberg (Fig. 9). In Höllenstein (Fig. 13) und Kachletstufe (Fig. 14) erzeugt das Gewitter kleine Stufen im Diagramm aber erst nach den beiden Absätzen im Druckgang. In Putbus (Fig. 10) fällt das Gewitter mit dem Kaltlufteinbruch zusammen. Dasselbe gilt auch für die schlesischen Stationen (Fig. 11, 12, 16 u. 17). In Ostpreußen (Fig. 15) endlich zeigt sich zur Zeit des Gewitters eine kleine Zacke im Barogramm. Es zeigt sich aber in allen Fällen, daß die Gewitter in keinen

Zusammenhang zu bringen sind mit dem zweiten Absatz im Druckverlauf.

Da weder durch den Kaltlufteinbruch allein, noch durch die an ihn geknüpfte Gewittertätigkeit eine befriedigende Erklärung für die Form des Druckverlaufes gegeben werden kann, soll im folgenden der Verlauf der stratosphärischen Druckwelle näher untersucht werden. Die frühesten Zeiten des Eintritts des Minimums der stratosphärischen Druckwelle zeigen die Stationen im Südwesten Deutschlands. So hat Donaueschingen die Zeit von 17^h, Karlsruhe 21^h und Stuttgart (Fig. 6) 21.30^h am 17. Juni. In Bayern treten Zeiten von 0^h in Bamberg und Nürnberg (Fig. 9), 2^h in Augsburg, 4^h in Höllenstein (Fig. 13) und in Salzburg 5^h auf am 18. Juni. In Nordwest- und Norddeutschland erfolgt der Durchgang des oberen Minimums um 6^h, nur in Oldenburg (Fig. 5) und Deutsch Krone um 7^h. In Schlesien findet man Zeiten von 4^h in Grünberg, 5^h in Liegnitz (Fig. 12), 6^h in Reinerz, und 7^h in Landeck (Fig. 11) und Ziegenhals. Da in Ostoberschlesien und Ostpreußen auf den Druckfall sofort der Druckanstieg folgt, ist ein zweiter Absatz nicht vorhanden. Trägt man diese Zeiten in eine Karte ein, so erhält man Fig. 2. Man erkennt aus der Karte, daß sich von Südwesten ein stratosphärisches Steiggebiet über Deutschland ausbreitet. Am 17. Juni um 17^h erreicht das Minimum der oberen Druckwelle, oder was dasselbe ist, das stratosphärische Steiggebiet die deutsche Grenze im Südwesten bei Donaueschingen und läßt sich verfolgen bis zum 18. Juni um 7^h, wo es sich über ganz Deutschland mit Ausnahme von Ostoberschlesien und Ostpreußen ausgebreitet hat. Betrachtet man die beiden Karten von der Ausbreitung der Kaltluft (Fig. 1) und von der Ausbreitung des stratosphärischen Steiggebietes (Fig. 2) zusammen, so kann man feststellen, daß die Kaltluft, die über Nacht liegen geblieben war, sich erst wieder in Bewegung setzt, als das obere Steiggebiet sich so weit ausgebreitet hatte, daß es hinter der Kaltfront lag.

6. Das Zusammenwirken von troposphärischer und stratosphärischer Druckwelle.

In diesem Abschnitt soll der Versuch gemacht werden, die Barogrammformen durch Ueberlagerung zweier Wellen zu erklären. Setzt man den Druckeffekt der Kaltluft und den Druckeffekt der stratosphärischen Druckwelle rein schematisch unter Annahme verschiedenartiger Umstände zusammen, so ergeben sich 11 Fälle. Bezeichnet man mit T den Zeitpunkt des Kaltlufteinbruchs (Minimum der troposphärischen Druckwelle), mit B den Zeitpunkt des Minimums der stratosphärischen Druck-

welle, mit E_T den Druckeffekt der Kaltluft und mit E_B den Druckeffekt der stratosphärischen Welle, dann ergeben die 11 Fälle folgendes Bild:

I $E_B > E_T$ und T vor B
II $E_B > E_T$ und T = B
III $E_B > E_T$ und B vor T

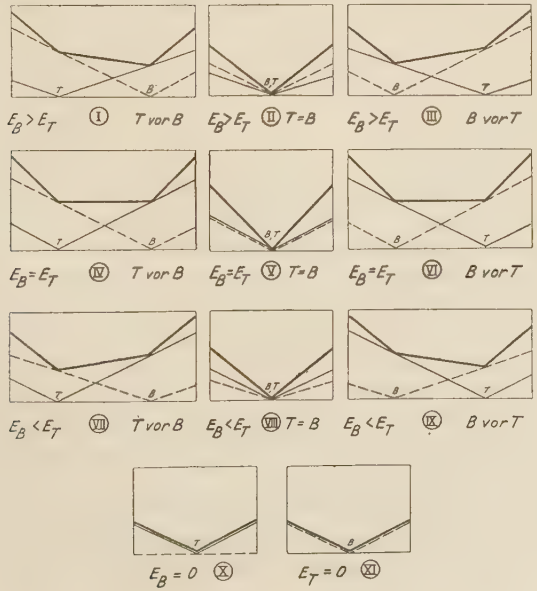
IV $E_B = E_T$ und T vor B
V $E_B = E_T$ und T = B
VI $E_B = E_T$ und B vor T

VII $E_B < E_T$ und T vor B
VIII $E_B < E_T$ und B = T
IX $E_B < E_T$ und B vor T

X $E_B = O$
XI $E_T = O$

Stratosphärische Druckwelle — — —
Troposphärische Druckwelle ———
Druckverlauf am Boden ———

T = Zeitpunkt des Kaltlufteinbruchs
(Minimum der troposphärischen Druckwelle)
B = Zeitpunkt des Minimums der stratosphärischen Druckwelle
E_T = Druckeffekt der troposphärischen Druckwelle
E_B = Druckeffekt der stratosphärischen Druckwelle.



Vergleicht man diese schematischen Formen mit den Barogrammen, so ergibt sich, daß diese schematischen Formen wirklich vorkommen. Im Südwesten Deutschlands, von woher sich das stratosphärische Steiggebiet über Deutschland ausbreitet, ist, wie zu erwarten war, der Druckeffekt der stratosphärischen Welle am stäksten. Man findet auch wirklich in Karlsruhe und Stuttgart (Fig. 6) Barogramme von der Form III (der Effekt der oberen Druckwelle ist stärker). Daß das Barogramm nun nicht genau gradlinig verläuft, sondern in Bogenform, war ja auch anzunehmen. Die Hauptsache ist jedoch, daß der Punkt T bei einem höheren Druck liegt als B, daß also der Druck schon anstieg, ehe der Kaltlufteinbruch erfolgte. Donaueschingen, das ja noch südwestlicher liegt, zeigt statt der Form III nur die Form VI (der Effekt beider Druckwellen ist gleich stark), was aber vermutlich darauf zurückzuführen ist, daß der Temperaturabfall beim Kaltlufteinbruch in Donaueschingen größer ist als in Karlsruhe und Stuttgart, so daß dadurch die beiden Druckeffekte gleich groß wurden. Entfernt man sich von dem Einbruchsgebiet der stratosphärischen Druckwelle, so findet man in Neuwied (Fig. 7), Helmstedt, Lübeck und Putbus (Fig. 10) die Form IV und in Friedrichshafen (Fig. 8), Augsburg, Nürnberg (Fig. 9) und Erfurt die Form VI (bei beiden Wellen sind die Druckeffekte gleich stark). Bei den westlichen Stationen kommt zuerst die stratosphärische Druckwelle. An den noch weiter entfernt liegenden Stationen Münster und Oldenburg (Fig. 5) kommt die Form VII und in Deutsch Krone, Liegnitz (Fig. 12), Landeck (Fig. 11), Höllenstein (Fig. 13) und Salzburg die Form IX vor (der Effekt der Kaltluft ist stärker). Ganz im Osten, in Königsberg und Treuburg (Fig. 15), in Ratibor, Proskau (Fig. 16) und Hindenburg (Fig. 17) und in Kachletstufe (Fig. 14) tritt die Form X auf (der Druckeffekt der stratosphärischen Welle ist 0). Man erkennt also, daß der Druckeffekt der Kaltluft von einem stratosphärischen Steiggebiet überlagert wird, das sich von Südwesten her ausbreitet, das an seinem Ausgangsort am kräftigsten ist und nach allen Seiten hin abnimmt. Nach Oberschlesien und Ostpreußen gelangt es überhaupt nicht. Die Größe der Phasendifferenz zwischen der Druckwelle, die durch die Kaltluft erzeugt wird, und der stratosphärischen Druckwelle, zeigt die Karte der Phasendifferenzen (Fig. 4). Aus dieser Verteilung erklärt sich auch die Veränderung der Barogramme. An den Stationen, an denen der Druckeffekt der Wellen ungefähr gleich groß und die Phasendifferenz eine längere Zeit ist, hebt das Fallen der einen Welle das Steigen der anderen fast auf. Dies ist der Fall in Nordwestdeutschland. Dann nimmt die Intensität der oberen Welle ab, aber auch die Temperaturerniedrigung beim Kaltlufteinbruch wird in einem großen Teil Deutschlands geringer, wo-

durch die Duckeffekte noch gleich bleiben. Dadurch, daß die Phasendifferenzen kleiner werden, werden die Amplituden der Druckänderungen größer. Nach Osten hin werden die Temperaturerniedrigungen beim Kaltlufteinbruch wieder größer und die Intensität der stratosphärischen Druckwelle nimmt weiter ab, so daß trotz wieder größer werdender Phasendifferenzen bald nichts oder nur wenig da ist, was den Druckschwankungen, die durch die Kaltluft erzeugt werden, entgegengesetzt wirken könnte. Daraus erklären sich die großen Druckänderungen in Oberschlesien und Ostpreußen.

Eine besondere Bearbeitung verlangen die Berge. Betrachtet man die Thermogramme, so findet man bei allen Bergstationen einen Temperaturabfall. Bei Brocken (Fig. 18), Schneekoppe (Fig. 19) und Sonnblick (Fig. 20) ist der Temperaturabfall scharf, während er bei der Zugspitze nur einem schnelleren Temperaturrückgang gleicht. Der Betrag des Temperaturrückganges ist beim Brocken 4° C, bei der Schneekoppe 5° C, bei der Zugspitze 6° C und beim Sonnblick 9° C. Die Zeit des Kaltlufteinbruchs, beim Brocken am 17. Juni 21^h, bei der Schneekoppe am 18. Juni 10.45^h, sind verschieden von den Zeiten, wie sie die Talstationen aufweisen. Die Zeitdifferenz ist abhängig von der Wanderungsgeschwindigkeit der Kaltluft und von der Höhendifferenz zwischen Tal- und Gipfelstation. Beim Brocken beträgt die Zeitdifferenz $1^1/_2$ Std. Diese große Zeitdifferenz ist eine Folge der sehr geringen Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Kaltluft, die ja während der Nacht fast an Ort und Stelle liegen bleibt. Bei der Zugspitze beträgt die Zeitdifferenz trotz des großen Höhenunterschiedes nur 1 Std., da sich die Kaltluft infolge Stauens am Gebirge sehr schnell längs desselben ausbreitet. Bei der Schneekoppe beträgt die Zeitdifferenz $^1/_2$ Std. Im Druckgang des Brockens (Fig. 18) zeigt sich, daß das mäßige Fallen am 17. Juni um 20^h durch einen kurzen Anstieg unterbrochen wird. Danach fällt der Druck dann weiter, aber nicht mehr so stark wie vorher. Am 18. Juni um 6^h beginnt der Druck erst schwach, dann aber stärker zu steigen. Es sind also drei Absätze vorhanden, statt zwei wie bei den Bodenstationen. Dies erklärt sich aber daraus, daß es sich hierbei um eine Gipfelstation handelt. Die Zeit des ersten kurzen Anstieges ist gleich der Zeit des Kaltlufteinbruchs am Fuße des Brockens. Wenn am Fuße des Berges die vorher dort liegende Warmluft von der einbrechenden Kaltluft gehoben wird, so beginnt auf dem Gipfel der Druck bereits zu steigen, ehe die Kaltluft dort selbst eintrifft. Da sie jedoch auf dem Gipfel nicht mehr dieselbe Mächtigkeit hat wie unten, überwiegt die obere Druckwelle, so daß der Druck, wenn auch jetzt durch die Kaltluft etwas aufgehalten, weiter fällt. Erst nachdem das Minimum der oberen Druckwelle überschritten ist,

beginnt der Druck zu steigen. Bei der Schneekoppe (Fig. 19) wird der Druckfall am 18. Juni um 4^h etwas abgebremst. Um 15^h beginnt er schwach zu steigen und um 20^h dann stärker. Die Bremsung des Druckfalles ist auf die stratosphärische Druckwelle zurückzuführen. Daß der Druckeffekt der oberen Druckwelle hier so schwach ist, ist erstens eine Folge der Höhenlage, denn die Druckeffekte aus der Höhe nehmen nach unten im Verhältnis der Drucke zu, und zweitens liegt die Schneekoppe schon ziemlich weit im Osten, wo der Effekt der oberen Druckwelle schon an und für sich sehr schwach ist, wie auch die umliegenden Bodenstationen zeigen. Der schwache Druckanstieg um 15^h ist die Folge der gehobenen Warmluft, denn um diese Zeit trifft die Kaltluft unten ein. Das darauf folgende stärkere Steigen wird dann von der nun auch oben eintreffenden Kaltluft erzeugt. Beim Sonnblick (Fig. 20) wird auch der Druckfall von der oberen Druckwelle um 6^h abgeschwächt. Um 12^h, zur Zeit des Kaltlufteinbruchs unten, erfolgt der erste Anstieg, der sich beim Kaltlufteinbruch oben fortsetzt. Aehnliche Verhältnisse zeigen sich auch bei der Zugspitze.

Zusammenfassung.

Die Ergebnisse können folgendermaßen kurz zusammengefaßt werden:

Bei einem Kaltlufteinbruch aus Nordwesten sind die Druckstufen in Nordwestdeutschland sehr gering, während sie nach Osten hin an Stärke zunehmen. Ferner wurde festgestellt, daß der Uebergang von fallendem zum steigenden Druck in zwei Absätzen vor sich geht. Die Tatsache, daß nur der eine der beiden Absätze von der Kaltluft erzeugt wird und außerdem die Lage des zweiten Absatzes gegenüber dem ersten gaben Grund zu der Annahme, daß der Druckeffekt, der durch die Kaltluft erzeugt wird, von einer Druckwelle stratosphärischer Herkunft überlagert wird. Aus einer Karte, in die die Ausbreitung der oberen Druckwelle eingetragen wurde, konnte festgestellt weden, daß sich das stratosphärische Steiggebiet von Südwesten her über Deutschland ausbreitete. Während die Kaltluft für die Ueberquerung Deutschlands 34 Stunden braucht, hat sich das stratosphärische Steiggebiet in 13 Stunden fast über das ganze Reich ausgebreitet. Es wurden dann schematische Ueberlagerungen gezeichnet und diese mit den Barogrammen verglichen, wobei sich eine genügende Uebereinstimmung zeigte. Die verschiedenen Formen des Luftdruckganges wurden dann aus den Phasenunterschieden der beiden Druckwellen und deren Intensität erklärt.

Stationsverzeichnis

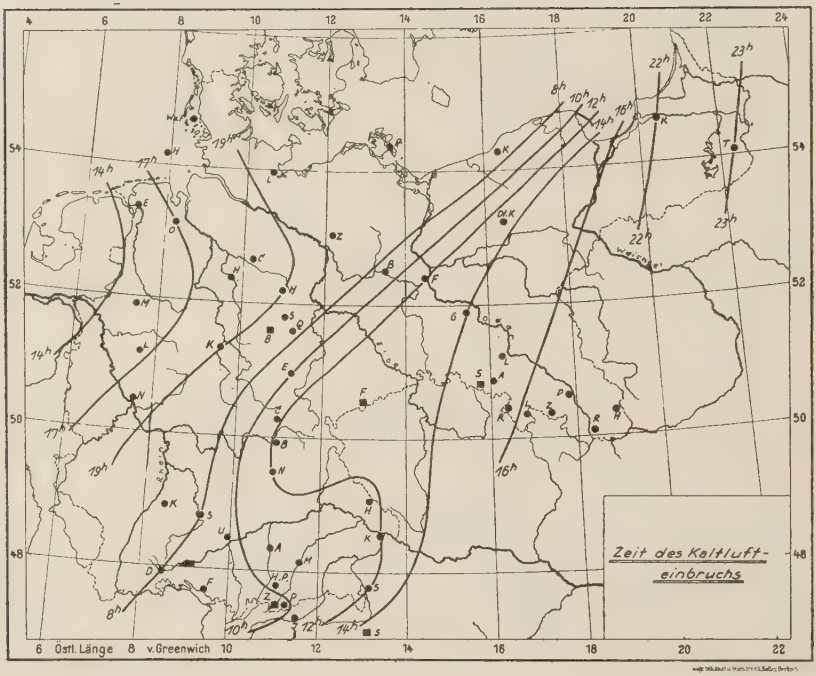


Fig. 1. Zeit des Kaltlufteinbruchs (aus Thermogrammen)

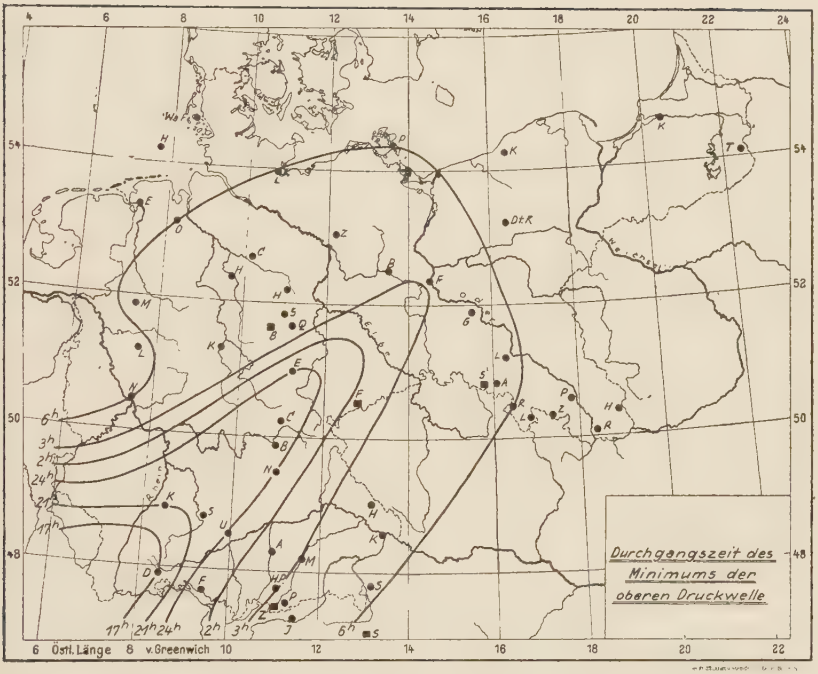


Fig. 2. Zeit des Minimums der stratosphärischen Druckwelle

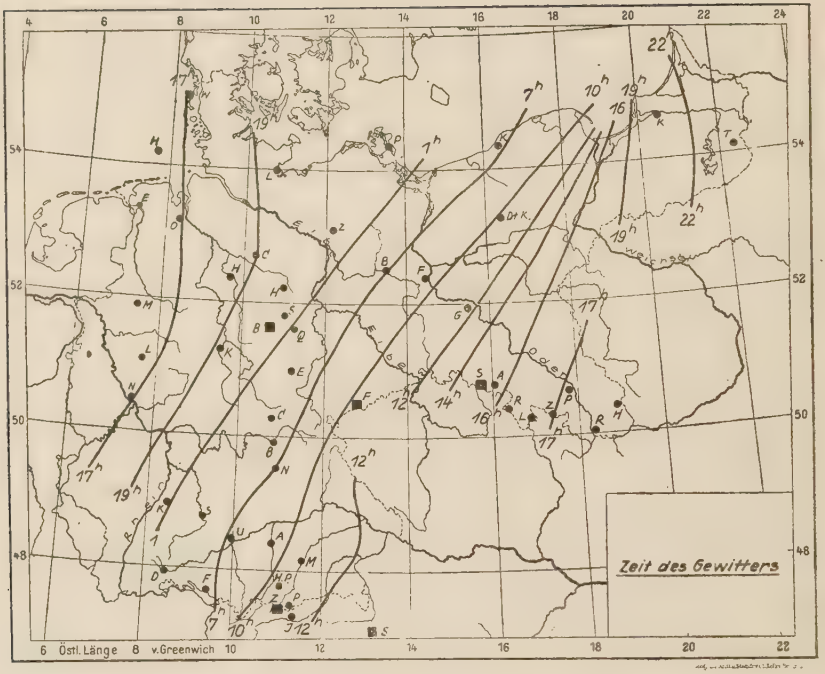


Fig. 3. Karte der Gewittertätigkeit

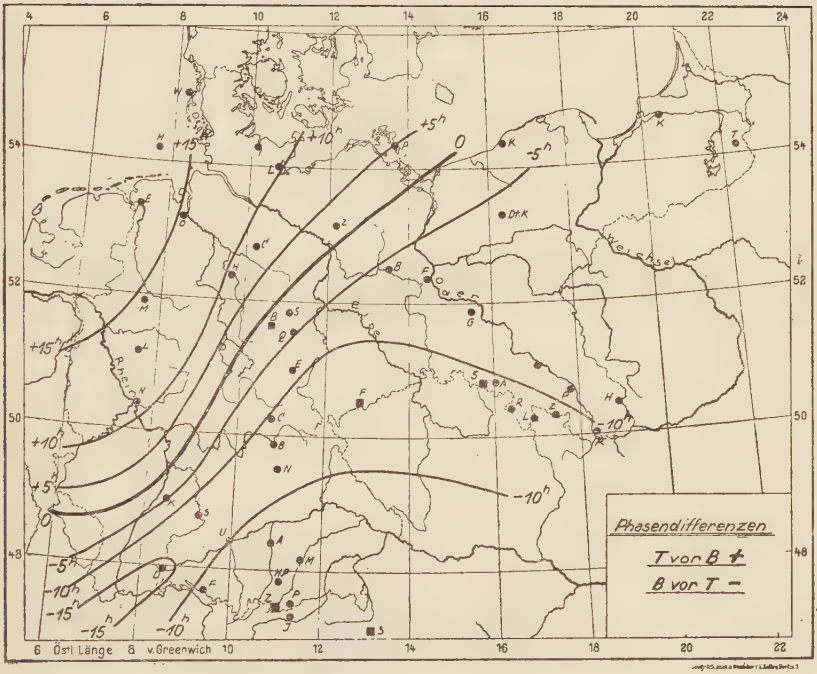


Fig. 4. Karte der Phasendifferenzen

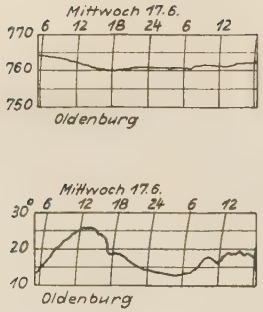


Fig. 5. Druck- und Temperaturregistrierungen von Oldenburg

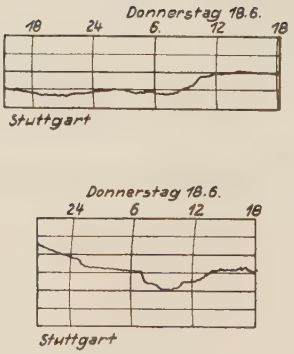


Fig. 6. Druck- und Temperaturregistrierungen von Stuttgart

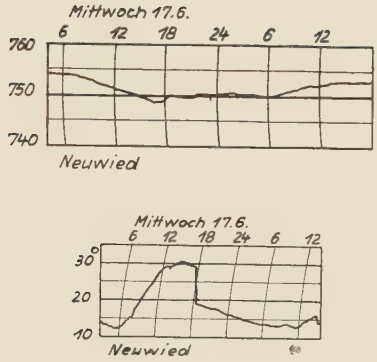


Fig. 7. Druck- und Temperaturregistrierungen von Neuwied

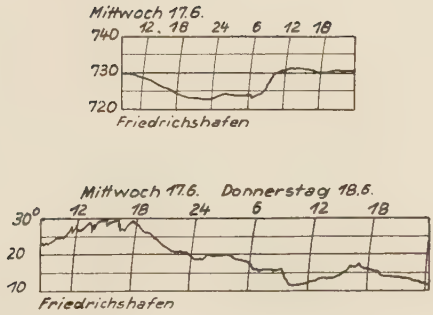


Fig. 8. Druck- und Temperaturregistrierungen von Friedrichshafen

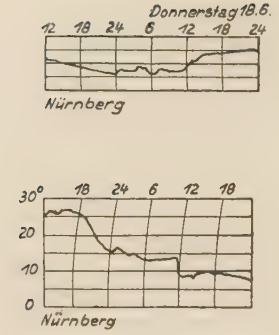


Fig. 9. Druck- und Temperaturregistrierungen von Nürnberg

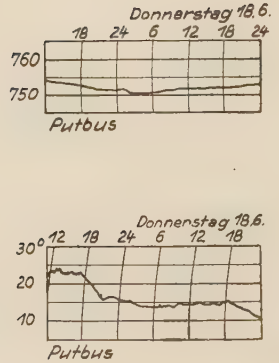


Fig. 10. Druck- und Temperaturregistrierungen von Putbus

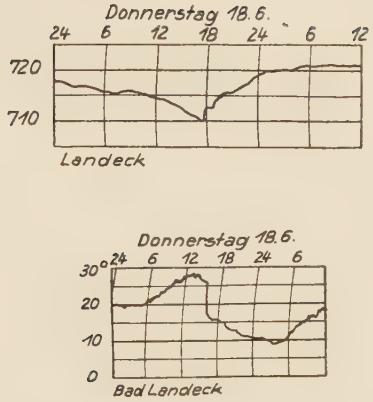


Fig. 11. Druck- und Temperaturregistrierungen von Landeck

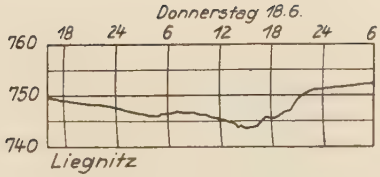
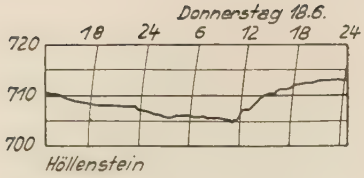


Fig. 12. Druckregistrierung von Liegnitz



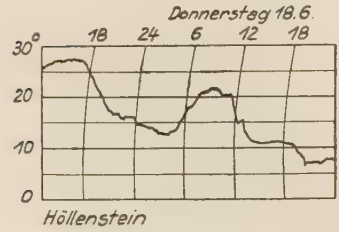
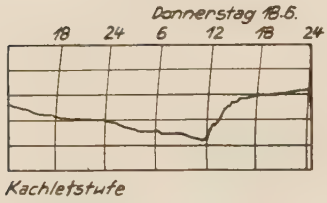


Fig. 13. Druck- und Temperaturregistrierungen von Höllenstein



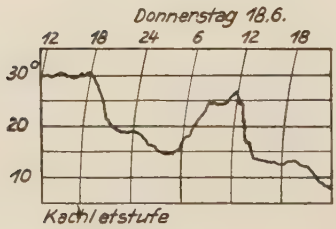


Fig. 14. Druck- und Temperaturregistrierungen von Kachletstufe

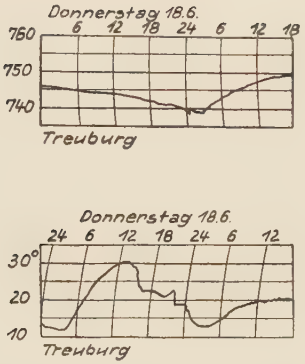


Fig. 15. Druck- und Temperaturregistrierungen von Treuburg

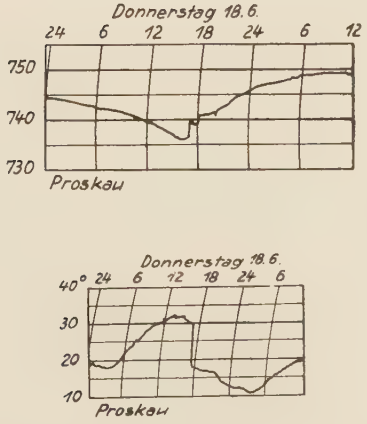


Fig. 16. Druck- und Temperaturregistrierungen von Proskau

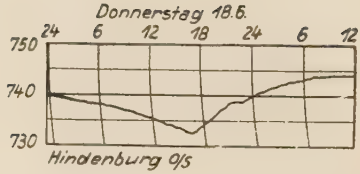


Fig. 17. Druckregistrierung von Hindenburg

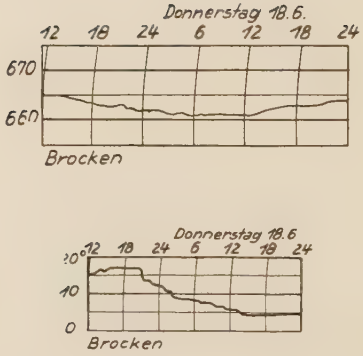


Fig. 18. Druck- und Temperaturregistrierungen des Brockens

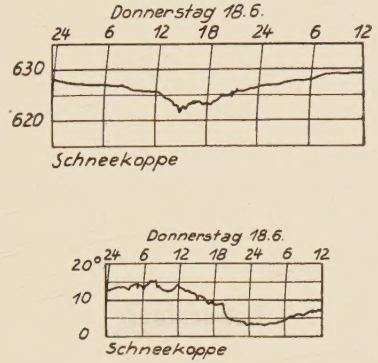


Fig. 19. Druck- und Temperaturregistrierungen der Schneekoppe

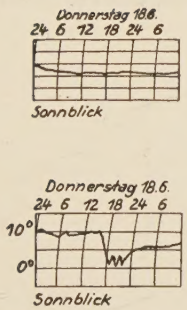


Fig. 20. Druck- und Temperaturregistrierungen des Sonnblicks

Lebenslauf.

Am 29. Mai 1913 wurde ich, Martin Haebler, als Sohn des Stadtoberbauführers Arnold Haebler und seiner Ehefrau Marie geb. Schulze zu Berlin geboren. Von Ostern 1919 bis Ostern 1932 besuchte ich die Leibniz-Oberrealschule in Berlin-Charlottenburg, wo ich auch am 1. März 1932 das Abiturientenexamen bestand. Am 1. April 1932 wurde ich an der Friedrich-Wilhelms-Universität Berlin immatrikuliert. Ich studierte Meteorologie, Ozeanographie, Physik, Mathematik und Chemie.

Meinen Lehrern, den Herren Professoren Bartels, Defant, Feigl, v. Ficker, Henning, Kähler, Knoch, Möller, Nernst, Orthmann, Robitzsch, Schlenk, Erhard Schmidt und Wehnelt bin ich zu Dank verpflichtet, besonders aber Herrn Prof. v. Ficker, der die Anregung zu der vorliegenden Dissertation gab.